

684.3166

PATENT APPLICATION



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

International Application of:

Takashi KATO, et al.

Application No.: 09/820,710

Filed: March 30, 2001

For: PROJECTION OPTICAL SYSTEM  
AND PROJECTION EXPOSURE  
APPARATUS

Examiner: Unassigned

Group Art Unit: 2872

August 28, 2001

RECEIVED  
AUG 30 2001  
1C/2800 MAIL ROOM

#5  
Priority  
K. Jones  
4/29/01

Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

CLAIM TO PRIORITY

Sir:


Applicants hereby claim priority under the International Convention and all rights to which they are entitled under 35 U.S.C. § 119 based upon the following Japanese Priority Applications:

JAPAN	2000-096934	March 31, 2000
JAPAN	2001-057369	March 1, 2001

Certified copies of the priority documents are enclosed.

Applicants' undersigned attorney may be reached in our Washington, D.C. office by telephone at (202) 530-1010 All correspondence should continue to be directed to our address given below.

Respectfully submitted,

  
\_\_\_\_\_  
Attorney for Applicants  
Steven E. Warner  
Registration No. 33,326

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO  
30 Rockefeller Plaza  
New York, New York 10112-3801  
Facsimile: (212) 218-2200

SEW/dc

DC\_MAIN 69073 v 1



日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

CFE 8166 US (1/2)  
096934/2000 #5

09/820,710  
Takashi Kato  
March 30, 2001

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 3月31日

出願番号

Application Number:

特願2000-096934

出願人

Applicant(s):

キヤノン株式会社

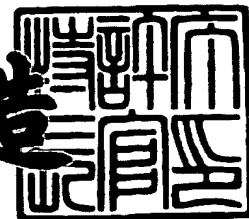
RECEIVED  
AUG 30 2001  
TC 2800 MAIL ROOM



2001年 4月20日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3033119

【書類名】 特許願

【整理番号】 4084089

【提出日】 平成12年 3月31日

【あて先】 特許庁長官 近藤 隆彦 殿

【国際特許分類】 G02B 27/42  
G02B 13/18  
G03B 7/20

【発明の名称】 投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、  
デバイス製造方法

【請求項の数】 16

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
キヤノン株式会社内

【氏名】 加藤 隆志

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
キヤノン株式会社内

【氏名】 石井 弘之

【発明者】  
【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
キヤノン株式会社内

【氏名】 寺沢 千明

【特許出願人】  
【識別番号】 000001007

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】  
【識別番号】 100105289

【弁理士】

特 2 0 0 0 - 0 9 6 9 3 4

【氏名又は名称】 長尾 達也

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 038379

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703875

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体の像を像面へ投影する投影光学系において、少なくとも一つのレンズと、少なくとも一つの凹面鏡と、少なくとも一つの回折光学素子とを有することを特徴とする投影光学系。

【請求項 2】 前記少なくとも一つのレンズ、少なくとも一つの凹面鏡、及び少なくとも一つの回折光学素子のそれぞれが、正の屈折力を有し、負の屈折力を有するレンズと負の屈折力を有する鏡と負の屈折力を有する回折光学素子とを備えていないことを特徴とする請求項 1 に記載の投影光学系。

【請求項 3】 前記レンズ、凹面鏡、及び回折光学素子のそれぞれが、正の屈折力を有することを特徴とする請求項 1 に記載の投影光学系。

【請求項 4】 前記少なくとも一つのレンズと前記少なくとも一つの凹面鏡を備え、前記物体の中間像を結像するように構成した第 1 結像光学系と、

前記少なくとも一つのレンズと少なくとも一つの回折光学素子を備え、前記中間像を像面へ投影する第 2 結像光学系と、

を有することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 5】 前記第 1 結像光学系と第 2 結像光学系とを共通の一直線の光軸に沿って配置し、前記凹面鏡によって反射され且つ集光された前記物体からの軸外光を、反射ミラーによって前記凹面鏡の有効径外を通過させ、像面側へ反射させるように構成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の投影光学系。

【請求項 6】 前記第 1 結像光学系と第 2 結像光学系との間にフィールド光学系を有することを特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の投影光学系。

【請求項 7】 前記第 1 結像光学系は、前記物体側から順に、少なくとも、正の屈折力を有するレンズと、前記反射ミラーと、前記凹面鏡と、を有することを特徴とする請求項 5 または請求項 6 に記載の投影光学系。

【請求項 8】 前記反射ミラーと前記凹面鏡との間に、レンズ群を有することを特徴とする請求項 7 に記載の投影光学系。

【請求項 9】前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第 1 結像光学系における正の屈折力を有するレンズと前記凹面鏡との間に配置されていることを特徴とする請求項 8 に記載の投影光学系。

【請求項 1 0】前記第 1 結像光学系により結像される中間像の近傍に反射面を配置し、前記凹面鏡によって反射され且つ集光された前記物体からの軸外光を、該反射面で偏向させて前記第 2 結像光学系へ導くように構成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の投影光学系。

【請求項 1 1】前記投影光学系中の前記回折光学素子の少なくとも 1 枚は、以下の条件式を満足するように構成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 1 0 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

$$3 < MP / \lambda < 50$$

但し、MP：回折光学素子の最小ピッチ（ $\mu\text{m}$ ）

$\lambda$ ：露光波長（ $\mu\text{m}$ ）

【請求項 1 2】前記投影光学系中の前記回折光学素子のうち少なくとも 1 枚は、以下の条件式を満足するように構成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 1 0 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

$$|L_d / L_{g2}| < 0.2$$

但し、 $L_d$ ：第 2 結像光学系中の開口絞りと回折光学素子との距離

$L_{g2}$ ：第 1 結像光学系 G 1 による中間像の近軸像面位置（第 2 結像光学系 G 2 の物点位置）から、中間像を再結像した際の、再結像面までの距離

【請求項 1 3】前記第 1 結像光学系による中間像付近に視野絞りを有することを特徴とする請求項 3 ～ 1 2 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 1 4】請求項 1 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

【請求項 1 5】請求項 1 4 に記載の投影露光装置を用いて前記マスクとしてのレチクルのデバイスパターンを前記基板としてのウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 1 6】前記露光に Ar F エキシマレーザ又は F 2 レーザからのレー

ザ光を用いることを特徴とする請求項 1 5 に記載のデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は投影光学系、および該投影光学系による投影露光装置、デバイス製造方法に関し、特にレチクルパターンを半導体ウェハに投影露光する投影光学系に、凹面鏡等を用いた反射屈折投影光学系に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

最近の半導体素子の製造技術の進展は目覚ましく、又それに伴う微細加工技術の進展も著しい。特に光加工技術はサブミクロンの解像力を有する縮小投影露光装置、通称ステッパー或いはスキャナが主流であり、さらなる解像力向上に向けて光学系の開口数（NA）の拡大や、露光波長の短波長化が計られている。従来より投影露光装置を用い、IC、LSI等の半導体素子のパターンをシリコン等のウェハに焼き付けるための結像光学系には非常に高い解像力が要求される。一般に結像光学系による投影像の解像力は使用する波長が短くなる程良くなるために、できる限りの短波長を放射する光源が用いられている。例えば短波長の光源としては、エキシマレーザーが注目されている。このエキシマレーザーはレーザー媒体として、KrF、ArF等が使用されている。そしてArFの次世代として期待されているのがF2である。

【0 0 0 3】

ところでこれらの光源の波長域においてはレンズ材料として、使用可能な硝材が石英と蛍石に限られてくる。これは主に透過率の低下に起因するものである。そして、これらの光源の波長域において使用できるこの石英や蛍石でも、例えば、特開平10-79345号公報等にて開示されているように、全て屈折レンズにて構成され、構成枚数が多く全硝材厚が厚い光学系ではレンズの熱吸収による焦点位置等の変動などの問題が生じることになる。更に近年の投影光学系は高開口数、広い露光範囲が切望されているために、より一層レンズの構成枚数を増やす必要性が生じてしまう。従って、更に光学系の透過率が低下するとともに硝材



のコストも非常に高くなってしまう結果となる。また、レーザーの狭帯域化が十分でない場合、色収差補正を考慮しなければならない。従って、色収差補正のために光学系内にて屈折レンズの組み合わせによる色消しを行なう必要がある。その場合、更にレンズの構成枚数を増加させる必要が生じてしまう。

【0004】

そのため、色収差の補正を行なう目的で回折光学素子を屈折光学系にて構成される投影光学系中に導入した光学系が、例えば特開平6-331941号公報、特開平7-128590号公報等により開示されている。これらの光学系は、屈折投影光学系の瞳付近に、通常の屈折レンズとは逆の分散を有する回折光学素子を導入することで、主に軸上色収差を補正するとともに、回折光学素子の非球面効果により主に球面収差やコマ収差等の諸収差を補正している。

尚、回折光学素子は、入射波面を定められた波面に変換する光学素子であり、屈折型レンズにはない特徴を備えている。例えば、屈折型レンズとは逆の分散値を有する、或いは実質的には厚みを持たないので光学系がコンパクトになる、等である。

【0005】

このような特徴を持つ回折光学素子を実際に高精度に製造するための方法として、例えばバイナリオプティクスが注目されている。これは、回折素子の形状を階段状に近似することにより、作製にLSIの製造等に用いられる半導体プロセス

反射部材と回折光学素子を含み、その回折光学素子が反射部材の反射面に形成されていることを特徴としている。同公報によると、屈折レンズの担っていた役割を回折光学素子に負わせることにより、反射面と回折光学素子のみで縮小倍率の投影光学系を達成しようとするものである、と記述されている。そして、回折光学素子は、投影露光に使用する光の波長幅に応じた分散を有するために、近軸領域ではその屈折力をゼロに近い状態、即ち焦点距離が無限大にて使用するのが良い、としている。この構成により、屈折レンズを用いることができないような短波長域においても使用することができる光学系を提案している。

【0007】

或いは、屈折光学系と反射光学系とを組み合わせた、いわゆる反射屈折光学系も種々提案されている。これらの光学系は色収差や諸収差をミラーと屈折レンズにて補正しようとするものであり、回折光学素子は使用していない。

その中で、2回結像系にて光学系を構成し、第1結像系中に1枚の凹面ミラーと屈折レンズを有し、第1結像系によるレチクルの中間像を、屈折レンズにて構成されている第2結像系にてウエハに結像する光学系が例えば、特開平8-304705号公報、等により開示されている。

この特開平8-304705号公報によると、第1結像系において形成される中間像は、平面ミラーを配置して光の進行方向（光軸）を90度屈折し、第2

さく、光学系の開口数も小さい。従って、露光範囲を大きくし、かつ高開口数を有するためには、やはりかなりのレンズ枚数の増加が必須となる。

#### 【 0 0 0 9 】

また、特開平 8 - 7 8 3 1 9 号公報の光学系は、屈折レンズと回折光学素子を用いた光学系について、その色収差の特に 2 次スペクトルを低減させるために、少なくとも 1 つの回折光学素子は正の屈折力、少なくとも 1 つの蛍石レンズは正の屈折力、そして少なくとも 1 つの石英レンズは負の屈折力にて構成しようとするものである。しかしながら、高解像力、広露光領域を有する光学系を達成するために色収差及び諸収差を良好に補正するには、数多くの屈折レンズを必要とすることには変わりはない。そして、具体的な数値実施例は開示されていない。

また、特開平 8 - 1 7 7 2 0 号公報の光学系については、具体的な数値実施例は開示されていない。また回折光学素子はそのパワーがゼロに近い状態にするのが望ましいとしてその非球面効果を利用しているために、光学系の屈折力はミラーにあること、更に屈折レンズとしてのレンズを使用していないことなどから、高開口数及び広い露光範囲を有することができない。

#### 【 0 0 1 0 】

また、特開平 8 - 3 0 4 7 0 5 号公報等の光学系は、第 1 結像系にて発生する収差を第 2 結像系にてキャンセルして収差補正を達成している。例えば、第 1 結像系において、凹面ミラーとその凹面ミラー付近に配置された負レンズによりオーバーな像面湾曲を発生するとともに、前記負レンズによって軸上色収差をオーバー方向に発生させている。これらをキャンセルするために、第 2 結像系は正のパワーを有する屈折レンズ群にて構成されており、それら正のパワーのレンズにより、アンダーな像面湾曲及び軸上色収差を発生させて全系として収差補正を行っている。しかしながら、色収差と像面湾曲を同時に補正し、かつその他の諸収差も補正する必要性から、第 1 結像光学系中には、負の屈折力を有するレンズ群やその他数多くのレンズを有するとともに、第 2 結像光学系中にも多数のレンズを配置する必要がある。特に、第 1 結像系における往復光学系として用いる屈折レンズは、その枚数を極力減らさないと光学系のトータル肉厚が増えて透過率が低下し、熱収差等の影響が大きくなってしまう。

また、色収差の問題のない反射ミラーのみを用いた、いわゆる反射光学系にて構成しようとする、高開口数を有する光学系を設計・製作することは非常に困難である。

【 0 0 1 1 】

そこで、本発明は、上記従来のものにおける課題を解決し、高開口数と広い露光領域を確保した投影光学系を提供することを目的とするものである。

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題を達成するために、つぎの（１）～（１５）のように構成した投影光学系を提供するものである。

（１）物体の像を像面へ投影する投影光学系において、少なくとも一つのレンズと、少なくとも一つの凹面鏡と、少なくとも一つの回折光学素子とを有することを特徴とする投影光学系。

（２）前記少なくとも一つのレンズ、少なくとも一つの凹面鏡、及び少なくとも一つの回折光学素子のそれぞれが、正の屈折力を有し、負の屈折力を有するレンズと負の屈折力を有する鏡と負の屈折力を有する回折光学素子とを備えていないことを特徴とする上記（１）に記載の投影光学系。

（３）前記レンズ、凹面鏡、及び回折光学素子のそれぞれが、正の屈折力を有することを特徴とする上記（１）に記載の投影光学系。

（４）前記少なくとも一つのレンズと前記少なくとも一つの凹面鏡を備え、前記物体の中間像を結像するように構成した第１結像光学系と、

前記少なくとも一つのレンズと少なくとも一つの回折光学素子を備え、前記中間像を像面へ投影する第２結像光学系と、

を有することを特徴とする上記（１）～（３）のいずれかに記載の投影光学系。

（５）前記第１結像光学系と第２結像光学系とを共通の一直線の光軸に沿って配置し、前記凹面鏡によって反射され且つ集光された前記物体からの軸外光を、反射ミラーによって前記凹面鏡の有効径外を通過させ、像面側へ反射させるように構成されていることを特徴とする上記（４）に記載の投影光学系。

(6) 前記第1結像光学系と第2結像光学系との間にフィールド光学系を有することを特徴とする上記(4)または上記(5)に記載の投影光学系。

(7) 前記第1結像光学系は、前記物体側から順に、少なくとも、正の屈折力を有するレンズと、前記反射ミラーと、前記凹面鏡と、を有することを特徴とする上記(5)または上記(6)に記載の投影光学系。

(8) 前記反射ミラーと前記凹面鏡との間に、レンズ群を有することを特徴とする上記(7)に記載の投影光学系。

(9) 前記レンズ群が、負の屈折力を有し、前記第1結像光学系における正の屈折力を有するレンズと前記凹面鏡との間に配置されていることを特徴とする上記(8)に記載の投影光学系。

(10) 前記第1結像光学系により結像される中間像の近傍に反射面を配置し、前記凹面鏡によって反射され且つ集光された前記物体からの軸外光を、該反射面で偏向させて前記第2結像光学系へ導くように構成されていることを特徴とする上記(4)に記載の投影光学系。

(11) 前記投影光学系中の前記回折光学素子の少なくとも1枚は、以下の条件式を満足するように構成されていることを特徴とする上記(1)～(10)のいずれかに記載の投影光学系。

$$3 < MP / \lambda < 50$$

但し、MP：回折光学素子の最小ピッチ(μm)

λ：露光波長(μm)

(12) 前記投影光学系中の前記回折光学素子のうち少なくとも1枚は、以下の条件式を満足するように構成されていることを特徴とする上記(1)～(10)のいずれかに記載の投影光学系。

$$|Ld / Lg2| < 0.2$$

但し、Ld：第2結像光学系中の開口絞りと回折光学素子との距離

Lg2：第1結像光学系G1による中間像の近軸像面位置(第2結像光学系G2の物点位置)から、中間像を再結像した際の、再結像面までの距離

(13) 前記第1結像光学系による中間像付近に視野絞りを有することを特徴とする上記(3)～(12)のいずれかに記載の投影光学系。

(14) 上記(1)～(13)のいずれかに記載の投影光学系によってマスクのパターンを基板上に投影する投影露光装置。

(15) 上記(14)に記載の投影露光装置を用いて前記マスクとしてのレチクルのデバイスパターンを前記基板としてのウェハに露光する段階と、該露光したウェハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

(16) 前記露光にArFエキシマレーザ又はF2レーザからのレーザ光を用いることを特徴とする上記(15)に記載のデバイス製造方法。

### 【0013】

#### 【発明の実施の形態】

本発明の一つの実施の形態としては、上記構成を適用して、例えば図1に示す投影光学系を構成することができる(実施の形態1)。これによって、レンズの構成枚数が少なく、かつ高解像力と広い露光領域を確保した投影光学系を実現することができる。これを図1に示した概略図に基づいて説明すると、101は第1の物体(レチクル)であり、102は第2の物体(ウェハ)である。

図1中、Mはミラー、Oは屈折レンズ、Dは回折光学素子を示す。

本実施の形態の投影光学系は、図1が示す通り、少なくとも屈折レンズ、ミラー、回折光学素子を有するとともに、その光学系中の焦点距離を有する屈折レンズ、ミラー、回折光学素子の各素子が全て正の焦点距離を有することで、レンズの構成枚数が少なく、かつ高解像力と広い露光領域を確保した投影光学系を実現することができる。

### 【0014】

以下に、その詳細について説明する。

一般的に光学系は正及び負の屈折力の光学素子を組み合わせることで各種収差(色収差、像面湾曲等々)の補正を行なっている。従って、より高開口数、広い露光範囲を補正する光学系を達成しようとする、必然的に正及び負の屈折力の光学素子を多く必要とすることになる。

逆に、光学系中の負の屈折力の光学素子をできる限り削減してかつ高開口数、広い露光範囲を補正できる光学系が構成できれば、その光学系の構成枚数は非常に少なくできるはずである。

## 【0015】

この点の議論を簡単にするために、薄肉密着系にて考える。屈折レンズの負の合成の屈折力を $\phi_{o-}$ 、アッベ数を $\nu_{o-}$ 、屈折率を $n_{-}$ とし、また、屈折レンズの正の合成の屈折力を $\phi_{o+}$ 、アッベ数を $\nu_{o+}$ 、屈折率を $n_{+}$ 、またミラーの合成屈折力を $\phi_m$ 、回折光学素子の合成屈折力を $\phi_d$ 、アッベ数を $\nu_d$ 、とする。

光学系を設計する上で、まず満足しなければならないのは、像面湾曲と色収差の補正である。これら諸量は光学系のパワー配置に依存するところが大きいので、設計初期の段階においても十分に考慮することが必要となる。

像面湾曲及び色収差を十分補正できる光学系が成立するためには、光学系中に正の屈折力を有するレンズと負の屈折力を有するレンズが必要となってくる。

## 【0016】

特に、光学系を構成する光学素子の全てが屈折レンズにて構成された場合、像面湾曲を示す指標 $F$ 及び色収差を示す指標 $C$ は以下の式(1)、(2)のように表すことができる。

$$F = \phi_{o+}/n_{+} + \phi_{o-}/n_{-} \dots (1)$$

$$C = \phi_{o+}/\nu_{o+} + \phi_{o-}/\nu_{o-} \dots (2)$$

光学系中に負の屈折力を有する素子を持たないと、(1)及び(2)式により、正の屈折力を有する素子のみで $F$ と $C$ が決まってしまう、両者ともに小さく或いはゼロにすることができないことがわかる。

そして、特に短波長域では前述の通り硝材が限定されるため、色収差を補正することが難しいとともに、広い露光領域及び高い開口数を有する光学系を達成しようとする、正、負の屈折力を有するレンズともにその枚数を大幅に使用せざるを得ない状況となる。

## 【0017】

また、屈折レンズと回折光学素子とで構成される光学系にて構成された場合、 $F$ 及び $C$ は以下の式(3)、(4)のように表すことができる。

以下の式(3)、(4)から明らかなように、色収差 $C$ と像面湾曲 $F$ を同時に補正しようとする、必然的に光学系中に負の屈折力を有するレンズが必要である。

これは、回折光学素子自体が像面湾曲に関与しないからである。

$$F = \phi_{0+}/n_+ + \phi_{0-}/n_- \dots (3)$$

$$C = \phi_{0+}/v_{0+} + \phi_{0-}/v_{0-} + \phi_d/v_d \dots (4)$$

また、ミラーと屈折レンズにて構成されている光学系においても、式(5)、(6)に示すとおり、色収差Cと像面湾曲Fを同時に補正しようとする、この場合も必然的に光学系中に負の屈折力を有するレンズが必要である。これは、ミラー自体が色収差補正に関与しないからである。

$$F = \phi_{0+}/n_+ + \phi_{0-}/n_- + \phi_m \dots (5)$$

$$C = \phi_{0+}/v_{0+} + \phi_{0-}/v_{0-} \dots (6)$$

そこで、本発明の光学系のように、屈折レンズと回折光学素子、ミラーとで構成した場合、F及びCは以下の式(7)、(8)のように表すことができる。

$$F = \phi_{0+}/n_+ + \phi_{0-}/n_- + \phi_m \dots (7)$$

$$C = \phi_{0+}/v_{0+} + \phi_{0-}/v_{0-} + \phi_d/v_d \dots (8)$$

上記したように、回折光学素子自体は像面湾曲を発生することがないため、像面湾曲を支配するのは、ミラーと屈折レンズである。また、ミラーは色収差補正には寄与しないため、色収差補正には屈折レンズと回折光学素子が寄与する。従って、屈折レンズ、ミラー、回折光学素子の3つの素子を用いて投影光学系を構成するに際して、負の屈折力を有するレンズを光学系中から排除すると、以下のようになる。

$$F = \phi_{0+}/n_+ + \phi_m \dots (7')$$

$$C = \phi_{0+}/v_{0+} + \phi_d/v_d \dots (8')$$

このように、屈折レンズ、ミラー、回折光学素子の3つの素子を用いることにより、上記2式を満足することで像面湾曲及び色収差を補正することが可能である。すなわち、前述した従来の光学系には必須であった負の屈折力を有するレンズを用いることなく光学系を構築することが可能となる。この場合、色収差を補正するためには、正の屈折力を有するレンズと正の屈折力を有する回折光学素子、更に正の屈折力を有するレンズにより発生する負の像面湾曲を打ち消すための正の屈折力を有するミラー（凹面ミラー）にて構成すれば、負の屈折力を有するレンズ及び素子を用いることなく光学系を構築できる。

以上説明した通り、投影光学系が少なくとも屈折レンズ、ミラー、回折光学素子



を有するとともに、焦点距離を有する屈折レンズ、ミラー、回折光学素子の各素子は、全て正の屈折力を有することで、全系の像面湾曲及び色収差を補正することができるとともに、構成枚数が少ない光学系を達成することが可能となる。

【0018】

また、本発明の別の実施の形態としては、上記構成を適用して、例えば図2に示す反射屈折投影光学系を構成することができる（実施の形態2）。図2において101は第1の物体（レチクル）、102は第2の物体（ウエハ）である。本実施の形態の光学系は、物体側から順に、少なくとも第1結像光学系G1と第2結像光学系G2よりなる。第1結像光学系G1は、屈折レンズ及びミラーを含んでおり、第1の物体101の中間像を形成している。第2結像光学系G2は、屈折レンズ及び回折光学素子を含んでおり、前述した中間像を第2の物体上に再結像している。

【0019】

一般に、ミラーには以下のような特徴を有する。すなわち、

- ・ミラー面では、色収差は発生しないこと、
- ・ミラーが有するパワーとペッツバール和の符号の関係は、通常の屈折レンズとは逆である。例えば凹面ミラーは、正のパワーを有しながらもペッツバール和は負の値を有するので、光学系中のペッツバール和補正のための負レンズのパワー負担を軽減できること、

等の特徴を有する。

以上のような特徴を有するミラーを光学系中にて使用することは、光学設計上有益であり、色収差が少なく構成枚数も少ない光学系を構成するための一つの手段となる。

【0020】

特 2 0 0 0 - 0 9 6 9 3 4

また一般に、多数回結像光学系においてミラーを最終結像光学系に配置すると、バックフォーカスを十分に確保することが困難であり、ミラーに入射する光束とミラーから出射する光束とを分離するために光学配置が複雑になる。尚、ここで言う最終結像光学系とは、図1における第2の物体（ウエハ）に最も近い結像系のことである。そしてより高開口数化を達成しようとする、さらにその配置が厳しくなるとともにミラーが大型化してしまう。従って、多数回結像光学系において、ミラーは最終結像光学系以外の結像光学系に配置するのが良い。

従って本発明においては、最終結像光学系以外の結像光学系に、特に第1結像光学系G1中に、少なくとも1枚以上のミラーを配置する構成を取っている。

【0021】

また、一般に回折光学素子は以下のような特徴を有する。すなわち、

- ・ 通常のレンズとは逆の符号の分散を有すること、
  - ・ 像面湾曲を生じない（ペッツバール和ゼロ）こと、
- 等の特徴を有する。

従ってミラーはその特性上、色収差は発生せず、また通常の屈折レンズの有するパワーとペッツバール和の関係とは逆符号の特性を有する一方、回折光学素子は

の屈折力を有する屈折レンズと負の屈折力を有する屈折レンズとを効果的に用いて補正する必要があり、高開口数及び広露光範囲を有する光学系においては必然的に多くの枚数が必要となってしまう。

・屈折レンズと回折光学素子とで光学系が構成された場合、色収差を補正するための自由度として回折光学素子は有益であるが、像面湾曲の補正には直接関与しない。従って、高開口数及び広露光範囲を有する光学系において像面湾曲と色収差を同時に補正しようとする、多くの負の屈折力を有する屈折レンズが必要となり、十分な簡素化を行なうことは難しい。

・ミラーと屈折レンズとで光学系が構成された場合、像面湾曲を補正するための自由度としてミラーは有益であるが、色収差の補正には直接関与しない。従って、高開口数及び広露光範囲を有する光学系において像面湾曲と色収差を同時に補正しようとする、やはり多数の正と負の屈折力を有する屈折レンズを必要とすることになる。

#### 【 0 0 2 3 】

従って、本実施の形態は、光学系を屈折レンズとミラー及び回折光学素子により構成している。回折光学素子自体は像面湾曲を発生することがないため、像面湾曲を支配するのは、ミラーと屈折レンズである。

また、ミラーは色収差補正には寄与しないため、色収差補正には屈折レンズと回折光学素子が寄与する。従って、屈折レンズ、ミラー、回折光学素子の3つの素子を積極的に用いることで、高開口数及び広露光範囲を有する光学系において像面湾曲と色収差を同時に補正しつつ、簡素な構成を有する光学系が達成できるのである。

#### 【 0 0 2 4 】

また、本実施の形態は、前述したように最終結像光学系はミラー以外の素子にて構成するのが良いので、特に高開口数と色収差補正及び諸収差の補正を同時に達成するために屈折レンズと回折光学素子にて構成している。最終結像光学系では、正の屈折レンズにより、大きなアンダーの色収差が発生する。従って、最終結像光学系中に回折光学素子を有することで、最終結像光学系により発生する色収差を抑えることができる。その結果、第1結像光学系G1においては、第2結

像光学系において発生する色収差をキャンセルするための光学系が少なく済むことになり、簡素な構成が達成できる。また、第1結像光学系においてミラーを有していることにより、光学系全系においてペッツバル和を補正することが容易となり、第2結像光学系における構成を簡素化できる。

【0025】

また、第2結像光学系は、色収差を補正するために正の屈折力を有する回折光学素子を少なくとも1枚以上有することで、通常の屈折レンズとは逆の分散を有する回折光学素子により、第2結像光学系において発生する色収差を低減するとともに、全系の色収差を良好に補正することが可能となる。

また、第2結像光学系の正の屈折力を有する屈折レンズにより発生するアンダーの像面湾曲（正のペッツバル和）を打ち消すために、第1結像光学系中には、正の屈折力を有するミラー（凹面ミラー）を少なくとも1枚以上用いて構成している。

【0026】

また、回折光学素子の少なくとも1枚は、以下の条件式を満足することが好ましい。

$$3 < MP / \lambda < 50 \quad (9)$$

但し、MP：回折光学素子の最小ピッチ（ $\mu\text{m}$ ）

$\lambda$ ：露光波長（ $\mu\text{m}$ ）

（9）式は、回折光学素子のピッチに関する条件式であり、上限を越えると回折光学素子のピッチが大きすぎてその効果が十分に発揮されず色収差を十分に補正しつつ、簡素な構成を取ることができない。また下限を越えると、逆に回折光学素子のピッチが小さすぎてしまい、作製することが困難になる。

【0027】

また、前記投影光学系中の前記回折光学素子のうち少なくとも1枚は、以下の条件式を満足する位置に配置されることが好ましい。

$$|Ld / LG2| < 0.2 \quad (10)$$

但し、Ld：第2結像光学系中の開口絞りと回折光学素子との距離

LG2：第1結像光学系G1による近軸像面位置（第2結像光学系G2の軸上物

点位置) から中間像を再結像した際の、再結像面までの距離

(10) 式は、回折光学素子と瞳 (開口絞り) との距離  $L_d$  を規定したものである。上限を越えると、開口絞りと回折光学素子との距離が離れてしまい、軸上色収差等の色収差の補正が困難になるとともに、像面での露光むらを少なくするのが難しくなる。

更に、より一層望ましくは、以下の条件式を満足することが望ましい。

$$|L_d / L_{G2}| < 0.15 \quad (10')$$

そして、本実施の形態では、以下の条件を満足することがより好ましい。

第2結像光学系  $G_2$  の倍率を  $\beta_{G2}$  とすると、

$$-0.5 < \beta_{G2} < -0.05 \quad (11)$$

また、軸上の全光学距離を  $L_o$ 、第1の物体  $101$  と第1のミラー  $M1$  との距離を  $LM1$  ととすると、

$$0.1 < LM1 / L_o < 0.5 \quad (12)$$

例えば図3において、 $L_o$  とは以下の距離のことを示す。

$L_o =$  (物体面  $101$  から第1のミラー  $M1$  までの距離)

+ (第1のミラー  $M1$  から第2のミラー  $M2$  までの距離)

+ (第2のミラー  $M2$  から像面  $102$  までの距離)

上記 (11) 式は、第2結像光学系の有効径を適正な値にするとともに、光学系全系において所定の倍率を確保するため、或いは第1結像光学系  $G_1$  を容易に構成するために第2結像光学系  $G_2$  の倍率を規定するものである。下限を越えると、第2結像光学系  $G_2$  の有効径が過度に増大するとともに、中間像の高さ (第2結像光学系  $G_2$  における物体高) が小さくなるために、第1結像光学系  $G_1$  から第2結像光学系  $G_2$  へと光束を導くことが困難になる。上限を越えると、第2結像光学系  $G_2$  の屈折力が大きくなり、収差補正が困難になるとともに、中間像の高さ (第2結像光学系  $G_2$  における物体高) が過度に増大してしまい好ましくない。

【0028】

また、上記 (12) 式は、光学系の軸上の全光学距離に対し、第1のミラー  $M1$  の位置を規定するものである。下限を越えると、第1結像光学系  $G_1$  の屈折力

が増大してしまい、収差補正が困難になる。また、上限を越えると、第1のミラーM1の有効径が過度に増大してしまうとともに、第2結像光学系G2の屈折力が増大してしまい、全系においてバランス良く収差補正することができない。

#### 【0029】

また、第1結像光学系G1による中間像付近に視野絞りを設けることにより、露光範囲を制限することも可能である。

また、本実施の形態においては、光源の波長は特に200nm以下の露光波長、特にArF、F2等の短波長領域において、使用することができる硝材が少なく通常の屈折レンズのみでは色補正が困難であって、高開口数及び広い露光範囲が要求される投影光学系を構成する際に特に有効となる。

また、レンズや回折光学素子は、ArF、F2等の200nm以下の短波長領域では、合成石英（或いはフッ素ドープの石英）、蛍石等の光透過性の高い材料を用いると良い。また各光学素子は、N<sub>2</sub>やHeなどの不活性ガスの雰囲気中に配置しておくといよい。

#### 【0030】

##### 【実施例】

以下に、本発明の実施例について説明する。以下に示す各実施例の光学系は、ステップ&リピート型やステップ&スキャン型の投影露光装置の投影光学系として用いるものであり、通常のリソグラフィーでは、この露光装置によりデバイスパターンでウエハを露光し、露光したウエハを現像し、エッチングを行う。

##### 【実施例1】

本発明の実施例1におけるレンズ構成を図3に示す。本実施例は、光学系中に、ミラー、レンズ、回折光学素子を有しており、光学系中の焦点距離を有する光学素子は全て正の屈折力にて構成されている。そして、103は本実施例の光学系の光軸であって、少なくとも第1の物体101の中間像を結像するための第1結像光学系G1、該中間像を第2の物体102上に結像するための第2結像光学系G2により構成される2回結像光学系であり、第1結像光学系G1はミラーと屈折レンズにて構成され、第2結像光学系G2は屈折レンズと回折光学素子とで構成されている。

## 【0031】

更に詳細に説明すると、物体側から順に、正の屈折力を有する屈折レンズ群L1、ミラーを有する群L2、フィールドレンズ群F、及び第2結像光学系G2より構成され、屈折レンズ群L1を構成する屈折レンズは正の屈折力を有するとともに、群L2は、第1のミラーである凹面鏡M1、第2のミラーである凹面鏡M2にて構成されており、両ミラーともに凹面鏡であるために正の屈折力を有している。また、フィールドレンズ群Fを構成する屈折レンズ及び第2結像光学系G2を構成する屈折レンズも同様に正の屈折力を有する。

また第2のミラーM2により反射された第1のミラーM1からの光束は第1のミラーM1の有効径外を通過するとともに、本実施例の光学系は光軸を唯1つ有している。このような構成をとることにより、瞳の中心部分の遮光（中抜け）が生じることのない投影光学系を構成することができる。

## 【0032】

図13は、本実施例による投影光学系の実施例のレンズ断面図を示している。投影倍率は1/4倍であり、基準波長は157nm、硝材としては蛍石を用いている。

本実施例は、像側の開口数は $NA = 0.6$ 、縮小倍率1/4、物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）は $L = \text{約} 1160 \text{ mm}$ である。又、基準波長は157nm、像高がおおよそ11.25～16.25mmの範囲にて収差補正されており、少なくとも像面上で長さ方向で26mm、幅で4mm程度の円弧状の露光領域を確保できる。

また、本実施例の縦及び横収差図を図9に示す。尚、収差図は基準波長及び $\pm 2 \text{ pm}$ の波長について表示している。

## 【0033】

本実施例の具体的な光学系の構成を説明する。

特2000-096934

物体側に凹面を向けた非球面ミラー、像側に凹面を向けた非球面ミラー、よりなる。これらのミラーにより、オーバー方向の像面湾曲を発生させることで、第2結像光学系G2のアンダー方向の像面湾曲をキャンセルしている。

また、L1、L2群により、第1のミラーM1付近に中間像を形成している。

#### 【0034】

第1結像光学系G1による、第1の物体101の中間像付近に配置されたフィールドレンズ群Fは、両凸形状の非球面正レンズにより構成されており、第1結像光学系G1からの光束を第2結像光学系G2に導くとともに、主に歪曲収差を補正している。

第2結像光学系G2は、物体側から順に、正の屈折力を有する回折光学素子、開口絞り、正の屈折力を有する回折光学素子、両凸形状の2枚の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面正レンズ、よりなる。

#### 【0035】

回折光学素子は2枚とも最小ピッチがおよそ $2\mu\text{m}$ 程度である。即ち、この回折光学素子を階段状にて近似する、いわゆるバイナリオプティクスにて構成する場合、8段形状とすればその1段分の幅はおよそ $0.25\mu\text{m}$ 程度となり、KrF等の光源を有する半導体露光装置を用いれば十分作製可能である。これらの回

折光学素子は、歪曲収差を発生させるフンドの軸



また、以上の実施例において、円錐定数  $k$  をゼロとしたが、円錐定数を変数にとって設計しても構わない。又、今回の実施例は、 $157\text{ nm}$ における硝材としてすべて蛍石を用いたが、 $157\text{ nm}$ にて使用可能な、例えばフッ素ドープの石英等、他の硝材を用いることができればその硝材を用いても構わない。また、KrFやArF光源の場合、蛍石と石英を混在して用いても構わないし、どちらか一方を用いても構わない。

#### 【0038】

また、ここでは露光光源として $157\text{ nm}$ のF2波長を用いたが、KrF波長或いは、ArFレーザー波長等でも構わない。特に、波長が短くなり、用いることができる光学材料が限られるとともに透過率が低く、光学系の構成枚数を少なくしなければならないような光学系に用いる場合に特に有効となる。従って、 $250\text{ nm}$ 以下の波長にて用いられる光学系には非常に有効である。

#### 【0039】

また、本実施例では、非球面の加工面の裏面が球面である非球面レンズを用いたが、非球面の加工面の裏面が平面或いは非球面であっても構わない。また、実施例中の屈折レンズは、全て非球面レンズであるが、球面レンズと混在して用いても構わない。

第1のミラーM1及び第2のミラーM2は非球面としたが、球面で構成しても構わない。但し、少ない枚数にて構成し、かつ高解像力を有するためには、非球面で

回折光学素子をバイナリオプティクスにて構成する場合、その段数は８段形状以外でも構わない。

本実施例では露光領域は円弧状としたが、収差補正されている露光領域内であれば矩形でも他の形状でも構わない。

【 0 0 4 1 】

〔実施例 2〕

図 4 は、本発明による投影光学系の実施例 2 の概略図である。

第 1 結像光学系 G 1 は、少なくとも物体側より順に屈折レンズを有する群 L 1、2 枚の対向して配置されたミラーを有する群 L 2 により構成されている。

また、群 L 2 は、第 1 のミラー M 1、第 2 のミラー M 2 により構成されている。

そして第 1 の物体 1 0 1 からの光束を第 1 結像光学系 G 1 にて結像し、中間像を形成する。その際、第 1 のミラー M 1 の有効径外を、第 1 の物体 1 0 1 からの軸外光束が通過する構成をとっている。そして第 1 結像光学系 G 1 により結像した中間像を、屈折レンズ及び回折光学素子により構成されている第 2 結像光学系 G 2 により、第 2 の物体 1 0 2 上に所定の倍率にて結像する。そして、物体面 1 0 1 と像面 1 0 2 は光学系の両端に配置されている。以上のような構成とすること

屈折レンズ群L 1は、物体側より順に、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、像面側に凸面を向けた略平凸形状の非球面正レンズよりなる。この屈折レンズ群L 1により、主にテレセン度と歪曲収差のバランスを良好にするとともに、第1の物体からの軸外光束を第1のミラーM 1へと導いている。第1のミラーM 1は、物体側に凹面を向けた凹面鏡にて構成されており、正の屈折力を有するとともに、像面湾曲を正方向に出して、第2結像光学系により発生する負の像面湾曲を打ち消す働きを有する。第2のミラーM 2は、像側に凹面を向けた凹面鏡にて構成されており、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーM 1の有効径外へと導いている。また第1結像光学系により結像される中間像は、第1のミラーM 1の有効径外の近傍に形成されている（本実施例では第2のミラーM 2から第2結像光学系G 2方向に反射した光束は、第1のミラーM 1の有効径外より少しM 2よりに形成されている）。本実施例のような構成をすることにより、第1のミラーM 1からの反射光束と、第2のミラーM 2からの反射光束との分離を容易に達成することができる。

また本実施例においては、中間像付近に1枚の両凸形状の非球面レンズをフィールドレンズ群Fとして配置している。

#### 【0044】

図14に示すように、中間像付近にフィールドレンズ群Fを配置することにより、2枚のミラーを含む群L 2におけるミラーの屈折力を過度に大きくすることなく、そして第2のミラーM 2からの光束を、第1のミラーM 1及び屈折レンズ群Rと分離するのにより有効である。また、このフィールドレンズ群Fは正の屈折力を有するのが好ましく、第1結像光学系G 1からの光束を第2結像光学系G 2に屈折させることで第2結像光学系G 2の有効径が大型化しないように機能して、第2結像光学系の有効径を小型化することができる。また中間像付近に配置されるために、特に歪曲収差等の軸外収差の補正に有効になる。

尚、このフィールドレンズ群Fは、第1結像光学系G 1及び第2結像光学系G 2のどちらか一方或いは両方に属する（即ちフィールドレンズ群F内にて中間像を形成）場合が考えられる。従って、フィールドレンズ群Fは、どちらかの結像光学系に属すると考えられる発明の主旨から外れるものではない。

## 【 0 0 4 5 】

第 2 結像光学系 G 2 は、物体側から順に、正の屈折力を有する回折光学素子、開口絞り、正の屈折力を有する回折光学素子、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ、像側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、よりなる。この第 2 結像光学系 G 2 は、フィールドレンズ群 F からの光束を第 2 の物体面上 1 0 2 に結像するために縮小系を構成している。

尚、回折光学素子の最小ピッチは、2 枚の回折光学素子ともに約  $2.5 \mu\text{m}$  である。従って、例えばバイナリオプティクスによりこの回折光学素子を作製した場合、1 ピッチを構成する段数を 8 段とすると、この回折光学素子の最小ピッチにおいて必要な最小線幅は約  $0.31 \mu\text{m}$  となる。

以上のような構成を取ることで、非常に構成がシンプルで、かつ色補正や他の収差補正も良好な反射屈折光学系を達成することができる。

## 【 0 0 4 6 】

尚、本実施例ではフィールドレンズ群 F を 1 枚のみで構成された場合を示したが、複数枚にて構成されていても構わない。またフィールドレンズ群 F がなくとも構わない。

また、式 (10) ~ (12) に対応する値を以下の表 1 に示す。

## 【 0 0 4 7 】

【表 1】

$ Ld/LG2 $	$\beta G2$	$LM1/L0$
$D1=0.036, D2=0.037$	-0.26	0.23

## 〔実施例 3〕

図 5 は、本発明による投影光学系の実施例 3 の概略図である。

図 5 中、第 1 結像光学系 G 1 は、少なくとも物体側より順に屈折レンズを有する群 L 1、少なくとも 2 枚のミラーを有する群 L 2 により構成されている。また、

特 2000-096934

群L2は、第1のミラーM1、第2のミラーM2及び屈折レンズ群Rにより構成されている。この屈折レンズ群Rは、第1の物体101からの入射光束と第1のミラーM1からの反射光束との両方を透過する、即ち往復光学系を形成している。そして、第1の物体101からの光束を、第2のミラーM2へと導いて像面方向に反射させた後、中間像を形成する。その際、第1のミラーM1の有効径外を、第1の物体101からの軸外光束が通過する構成をとっている。そして第1結像光学系G1により結像した中間像を、フィールドレンズ群Fを経由して、屈折レンズ及び回折光学素子により構成されている第2結像光学系G2により第2の物体102上に所定の倍率にて結像する。

【0048】

実施例3の具体的なレンズ構成を図15に示す。

本実施例は、像側の開口数は $NA=0.6$ 、縮小倍率 $1/4$ 、物像間距離（第1の物体面～第2の物体面）は $L=約1195\text{ mm}$ である。又、基準波長は $157\text{ nm}$ 、像高がおよそ $11.25\sim16.75\text{ mm}$ の範囲にて収差補正されており

小さくとも見え方向で20 恒て5 程度の円弧状の電光輝域を確保す

レンズにより発生している負の像面湾曲を打ち消す働きを有する。第2のミラーM2は、像側に凹面を向けた凹面鏡にて構成されており、第1の物体101上の軸外光束を第1のミラーM1の有効径外へと導いている。中間像は、第1のミラーM1の有効径外の近傍に形成されている。また、中間像付近に1枚の両凸形状の非球面レンズをフィールドレンズ群Fとして配置している。

【0051】

第2結像光学系G2は、物体側から順に、正の屈折力を有する回折光学素子、開口絞り、正の屈折力を有する回折光学素子、像側に凹面を向けたメニスカス形状の非球面正レンズ、両凸形状の非球面正レンズ、物体側に凸面を向けた非球面レンズ、よりなる。この第2結像光学系G2は、フィールドレンズ群Fからの光束を第2の物体面上102に結像するために縮小系を構成している。

【0052】

尚、回折光学素子の最小ピッチは、2枚の回折光学素子ともに約 $2.0\mu\text{m}$ である。従って、バイナリオプティクスによりこの回折光学素子を作製した場合、1ピッチを構成する段数を8段とすると、この回折光学素子の最小ピッチにおいて必要な最小線幅は約 $0.25\mu\text{m}$ となる。

以上のような構成を取ることで、非常に構成がシンプルで、かつ色補正や他

尚、屈折レンズ群Rは、2枚のミラーを含む群L2の範囲において、どこに配置しても、又何枚配置しても構わない。しかしながら、群L2の範囲に屈折レンズを極力少なく配置することが、光学系を簡素化する観点からはより望ましい。また、第2のミラーM2は凹面鏡でも平面鏡でも或いは凸面鏡でも構わない。しかしながら、第1のミラーの屈折力を分担するためにも凹面鏡であることがより好ましい。

また、式(10)～(12)に対応する値を以下の表2に示す。

【0055】

【表2】

$ Ld/LG2 $	$\beta G2$	$LM1/L0$
$D1=0.067, D2=0.001$	-0.23	0.25

【実施例4】

図7は、本発明による投影光学系の実施例4の概略図である。

第1結像光学系G1は、少なくとも物体側より順に屈折レンズを有する群L1、少なくとも1枚の凹面鏡501を有する群L2により構成されている。そして第1の物体101からの光束を第1結像光学系G1にて結像し、中間像を形成する。その際、第1結像光学系G1による中間像付近に反射面502を配置して光束を偏向させることにより、第1の物体101からの軸外光束と凹面鏡501からの光束を分離し、屈折レンズと回折光学素子にて構成されている第2結像光学系G2へと導いている。第2結像光学系G2は屈折レンズと回折光学素子により構成されている。

【0056】

実施例4の具体的なレンズ構成を図16に示す。

本実施例は、像側の開口数は $NA=0.6$ 、縮小倍率 $1/4$ である。又、基準波長は $157\text{ nm}$ 、像高がおおよそ $11.25\sim 16.25\text{ mm}$ の範囲にて収差補正されており、像高は $5\text{ mm}\sim 18.6\text{ mm}$ 程度までのリングフィールド領域を確保している。また、本実施例の縦及び横収差図を図12(a)、(b)に示す。

尚、収差図は基準波長及び $\pm 20 \text{ pm}$ の波長について表示している。物体側から順に、両凸形状の非球面正レンズ、両凹形状の非球面正レンズよりなる、屈折レンズ群L1は、これら2枚の屈折レンズにより構成されている。

そして1枚の凹面鏡を含む群L2は、物体側より順に、両凸形状の非球面正レンズ、凹面を物体側に向けた非球面負レンズ、凹面鏡、よりなる。両凸形状の非球面正レンズ及び凹面を物体側に向けた非球面負レンズは、往復光学系R5を構成しており、群L1からの光束と、凹面鏡を反射した光束とを透過している。

#### 【0057】

図7中、502は、反射面を示しており、ここでは光軸503を90度偏向させる役割を持つ。第1結像光学系G1の中間像は、この反射面502付近に形成される。

第2結像光学系G2は物体側から順に、像面に凸面を向けた非球面正レンズ、正の屈折力を有する回折光学素子、開口絞り、正の屈折力を有する回折光学素子、中間像に凸面を向けた略平凸形状を有する非球面正レンズ、2枚の両凸形状の非球面正レンズ、よりなる。

尚、回折光学素子の最小ピッチは、像面から遠い順に約 $2.25 \mu\text{m}$ 、 $2.20 \mu\text{m}$ 程度である。従って、バイナリオプティクスによりこの回折光学素子を作製した場合、1ピッチ当りの段数を8段にて構成すると、この回折光学素子の最小ピッチにおいて必要な最小線幅は、約 $0.28 \mu\text{m}$ 、 $0.27 \mu\text{m}$ 程度となる。

#### 【0058】

尚、本実施例は、群L2中に往復光学系R5を用いたが、図8が示すように、用いなくとも構わない。また、平面ミラーを第2結像光学系中に配置することにより、物体面101と像面102を平行に配置してもよい。

また、式(10)～(12)に対応する値を以下の表3に示す。

#### 【0059】



【表 3】

$ L_d/LG2 $	$\beta G2$	$LM1/L_0$
$D1=0.068, D2=0.005$	-0.25	0.32

以上の実施例において、屈折力を有する全てのミラーは非球面にて形成されているが、必ずしも全て非球面である必要はない。即ち球面ミラーを用いて構成しても構わない。但し、非球面を用いることによって諸収差をより良好に補正することが可能である。

また、円錐定数  $k$  をゼロとした非球面があるが、円錐定数を変数にとって設計しても構わない。また、屈折レンズを形成する 2 面のうちの 1 面を非球面化したが、両面非球面、或いは非球面加工面の裏面を平面としても構わない。また、平行平板の 1 面或いは両面を非球面化しても構わない。

## 【0060】

更に、今回は露光光源として 157nm の F2 波長を用いたが、ArF 波長等でも構わない。即ち、波長が短くかつ使用できる硝材が数少ない場合、特に 200nm 以下の波長において本発明は非常に有効である。

更に、今回の実施例は、硝材としてすべて蛍石を用いたが、F2 波長において有効な硝材ができればそれを用いても構わない。また ArF 波長等では石英と蛍石を両方とも用いることでより良好な収差補正が期待できる。もちろん、どちらか一方の硝材だけを用いることも可能である。

また、光学系全系の倍率は、本実施例においては全て 1/4 倍としたが、別の倍率でも構わない。例えば、1/6 倍や 1/8 倍等や他の倍率でも構わない。

## 【0061】

また、本実施例においては、回折光学素子を 2 枚用いたが、特に回折光学素子の使用枚数を制限するものではない。即ち 1 枚のみでもいいし、多数枚用いても構わない。

また、複数枚用いる場合には、同じ位相関数を有する回折光学素子を複数枚用いても構わない。

更に、本発明における実施例では露光領域は円弧状としたが、像面上での全露光範囲内であれば矩形でも他の形状でも構わない。

【 0 0 6 2 】

以下に、上記の実施例 1 ～ 実施例 4 の数値実施形態の構成諸元を、それぞれの実施例に対応させて表 4 ～ 表 7 に示す。なお、数値実施形態において、 $r_i$  は物体側より順に第  $i$  番目のレンズ面の曲率半径、 $d_i$  は物体側より順に第  $i$  番目のレンズ厚及び空気間隔、 $n_i$  は物体側より順に第  $i$  番目のレンズの硝子の屈折率を示すものとする。

また、F 2 の基準波長に対する  $+2 \mu m$  及び  $-2 \mu m$  の波長の屈折率は、各々 1.5599949、1.5600051 である。

また、非球面の形状は次式、

$$X = \frac{H^2 / r_i}{1 + \left( 1 - (1 + k) \left( \frac{H}{r_i} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} + A \cdot H^4 + B \cdot H^6 + C \cdot H^8 + D \cdot H^{10} + E \cdot H^{12} + F \cdot H^{14} + G \cdot H^{16} + \dots$$

にて与えられるものとする。ここに、 $X$  はレンズ頂点から光軸方向への変位量、 $H$  は光軸からの距離、 $r_i$  は曲率半径、 $k$  は円錐定数、 $A, \dots, G$  は非球面係数である。

回折光学素子の位相関数  $\phi(r)$  は、以下のように与えられる。但し、 $r$  は光軸からの距離、 $\lambda$  は数値実施例においては設計波長を示している。

$$\phi(r) = \frac{2\pi}{\lambda} (C_1 r^2 + C_2 r^4 + C_3 r^6 + C_4 r^8 + C_5 r^{10} + \dots)$$

【 0 0 6 3 】

【表 4】 〈実施例 1〉

第 1 の物体～第 1 面の距離：70.138mm

i	ri	di	ni	
1	-2762.442	18.000	1.56000	
2	-399.532	1.000		
3	558.553	25.576	1.56000	
4	-214.414	171.921		
5	-312.537	-161.921		M 1
6	406.936	189.389		M 2
7	356.569	23.253	1.56000	
8	-453.004	506.682		
9	0.000	10.000	1.56000	回折光学素子
10	0.000	63.309		
11	0.0(stop)	1.008		
12	0.000	10.000	1.56000	
13	0.000	8.575		回折光学素子
14	626.401	35.000	1.56000	
15	-333.974	79.668		
16	238.618	35.000	1.56000	
17	-619.121	6.883		
18	95.677	35.000	1.56000	
19	342.050			

aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	2.128391e-008	-6.468606e-012	-2.457597e-016	1.814504e-020
4	0.000000e+000	1.641133e-009	6.922093e-012	-2.015931e-016	3.738140e-020
5	0.000000e+000	1.083740e-007	-8.231635e-013	9.084428e-015	-8.950845e-018
6	0.000000e+000	-7.348435e-009	1.960647e-013	4.904284e-019	7.408717e-022
8	0.000000e+000	8.668391e-009	-1.758747e-013	5.650018e-017	-1.023943e-020
14	0.000000e+000	1.231504e-008	-1.287668e-012	1.795636e-016	-8.688361e-022
16	0.000000e+000	1.572717e-008	1.890492e-011	-1.372265e-015	5.789546e-020
18	0.000000e+000	-2.226921e-008	-3.849648e-011	-4.462957e-015	4.380898e-020

i	E	F	G
2	-4.827823e-024	5.475221e-028	0.000000e+000
4	-1.307747e-024	-2.107435e-028	0.000000e+000
5	2.470538e-021	-9.649621e-028	0.000000e+000
6	-3.301314e-025	2.880002e-029	0.000000e+000
8	1.024211e-024	-4.305361e-029	0.000000e+000
14	-1.820368e-024	8.540871e-029	0.000000e+000
16	7.579491e-024	-7.515667e-028	0.000000e+000
18	-2.781699e-022	1.992138e-026	0.000000e+000

【0 0 6 4】

【表 5】 〈実施例 2〉

i	ri	di	ni	Obj-distance= 70.138
1	-555.578	22.012	1.56000	
2	-292.149	1.000		
3	2558.756	25.576	1.56000	
4	-166.437	188.149		
5	-336.169	-178.149	M1	
6	448.899	195.456	M2	
7	401.946	23.253	1.56000	
8	-403.602	499.775		
9	0.000	10.000	1.56000	
10	0.000	33.776		
11	0.0(stop)	35.259		
12	0.000	10.000	1.56000	
13	0.000	18.767		
14	1159.629	19.656	1.56000	
15	-345.388	1.000		
16	131.936	28.435	1.56000	
17	224.124	6.449		
18	358.999	31.867	1.56000	
19	115.724	7.580		
20	187.254	37.000	1.56000	
21	-320.754	1.000		
22	97.472	37.000	1.56000	
23	267.502			

## aspherical surfaces

I	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	2.988994e-008	-6.382928e-012	-4.437456e-016	3.239065e-020
4	0.000000e+000	1.072435e-008	5.530139e-012	2.204553e-016	-2.736735e-020
5	0.000000e+000	7.884656e-008	-5.301436e-012	2.342867e-015	-8.904030e-019
6	0.000000e+000	-7.343414e-009	1.256438e-013	2.039327e-018	1.593793e-022
8	0.000000e+000	6.447098e-009	-5.702305e-014	2.811889e-018	9.786429e-022
14	0.000000e+000	9.954353e-009	-1.222878e-012	7.019208e-017	-9.086299e-021
20	0.000000e+000	4.070401e-008	2.420260e-011	-2.619025e-015	2.625291e-019
22	0.000000e+000	-2.992858e-008	-3.243400e-011	-1.827633e-015	-4.670577e-019

I	E	F	G
2	-1.083678e-023	9.879943e-028	0.000000e+000
4	1.018055e-023	-8.825224e-028	0.000000e+000
5	3.479651e-022	-6.062478e-026	0.000000e+000
6	-1.314002e-025	1.039782e-029	0.000000e+000
8	-9.983259e-026	1.305787e-030	0.000000e+000
14	4.952859e-025	-2.706623e-029	0.000000e+000
20	-1.930540e-023	5.435958e-028	0.000000e+000
22	-7.279457e-023	7.047478e-027	0.000000e+000

## HOE surfaces

I	C1	C2	C3	C4	C5
9	7.258941e-004	-2.816325e-008	-5.114855e-014	0.000000e+000	0.000000e+000
13	5.954071e-004	-7.587706e-009	-9.857974e-013	0.000000e+000	0.000000e+000

【0065】

【表6】〈実施例3〉

i	ri	di	ni	Obj-distance= 68.238
1	-628.549	18.000	1.56000	
2	-400.000	1.156		
3	237.446	24.160	1.56000	
4	-584.866	220.411		
5	-191.564	24.572	1.56000	
6	-456.235	2.714		
7	-287.559	-2.714	M1	
8	-456.235	-24.572	1.56000	
9	-191.564	-210.411		
10	626.588	298.657	M2	
11	264.313	29.512	1.56000	
12	-944.879	479.022		
13	0.000	10.000	1.56000	
14	0.000	59.858		
15	0.0(stop)	1.000		
16	0.000	10.000	1.56000	
17	0.000	1.000		
18	135.000	26.636	1.56000	
19	188.482	48.819		
20	120.000	32.500	1.56000	
21	-410.282	19.310		
22	102.069	29.133	1.56000	
23	0.000			

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
2	0.000000e+000	2.493793e-008	-5.598710e-012	-1.038264e-016	2.163582e-020
4	0.000000e+000	-1.074488e-008	7.677562e-012	-5.075624e-016	4.435628e-020
5	0.000000e+000	-1.771367e-008	-4.429027e-012	3.722296e-015	-1.456801e-018
7	0.000000e+000	7.728940e-009	1.155240e-012	1.644424e-015	-5.308747e-019
9	0.000000e+000	-1.771367e-008	-4.429027e-012	3.722296e-015	-1.456801e-018
10	0.000000e+000	-4.157583e-009	8.141977e-014	1.615963e-018	3.214400e-022
12	0.000000e+000	1.355704e-008	-1.897035e-013	3.115481e-017	-3.256260e-021
18	0.000000e+000	3.711673e-008	9.195962e-013	1.864848e-016	-4.130019e-020
20	0.000000e+000	-2.293730e-007	-1.175638e-011	-4.803030e-016	1.824753e-019
22	0.000000e+000	1.686911e-007	4.302865e-011	6.552415e-015	-2.329619e-018

i	E	F	G
2	-2.502558e-024	1.655468e-028	0.000000e+000
4	-2.689531e-024	3.201159e-029	0.000000e+000
5	9.787799e-022	-1.159244e-025	0.000000e+000
7	3.526786e-022	-4.164371e-026	0.000000e+000
9	9.767799e-022	-1.159244e-025	0.000000e+000
10	-2.958961e-026	5.128353e-031	0.000000e+000
12	1.535275e-025	-2.389171e-030	0.000000e+000
18	7.981582e-024	-6.489593e-028	0.000000e+000
20	-4.973576e-023	5.909887e-027	0.000000e+000
22	1.595410e-021	-4.013024e-025	0.000000e+000

## HOE surfaces

i	C1	C2	C3	C4	C5
14	1.017755e-003	-5.058745e-008	8.433401e-015	-1.032705e-018	3.172816e-023
17	5.148019e-004	2.786775e-008	-2.624114e-012	5.484800e-017	-4.631525e-022

【表 7】 〈実施例 4〉

i	ri	di	ni	Obj-distance= 68.499
1	699.691	33.706	1.56000	
2	-486.007	18.806		
3	-364.452	20.531	1.56000	
4	593.003	104.397		
5	620.381	27.468	1.56000	
6	-538.238	682.098		
7	-291.989	30.415	1.56000	
8	3831.912	69.406		
9	-398.872	-69.406	M1	
10	3831.912	-30.415	1.56000	
11	-291.989	-682.098		
12	-538.238	-27.468	1.56000	
13	620.381	-4.943		
14	0.000	504.609	M2	
15	-692.782	19.458	1.56000	
16	-430.908	290.815		
17	0.000	10.000	1.56000	
18	0.000	221.443		
19	0.0(stop)	16.287		
20	0.000	10.000	1.56000	
21	0.000	3.360		
22	300.000	46.909	1.56000	
23	-4015.088	68.510		
24	220.000	46.794	1.56000	
25	-1164.015	85.157		
26	265.993	47.000	1.56000	
27	-578.340			

## aspherical surfaces

i	K	A	B	C	D
1	0.000000e+000	-1.681866e-009	2.986153e-013	-5.223610e-019	2.824161e-021
3	0.000000e+000	6.458325e-009	-2.072192e-013	-3.342548e-018	-1.997125e-021
6	0.000000e+000	2.854928e-009	2.852185e-015	1.944709e-019	1.479079e-023
7	0.000000e+000	5.949273e-009	1.353688e-013	2.886980e-018	2.989787e-022
9	0.000000e+000	-7.761800e-012	5.197164e-015	1.092259e-019	1.709278e-023
11	0.000000e+000	5.949273e-009	1.353688e-013	2.886980e-018	2.989787e-022
12	0.000000e+000	2.854928e-009	2.852185e-015	1.944709e-019	1.479079e-023
15	0.000000e+000	-5.267907e-009	1.973015e-014	2.604847e-019	8.885808e-024
22	-3.224606e+000	-8.390881e-009	-4.384285e-013	-1.210442e-018	-1.082590e-022
24	0.000000e+000	-7.333591e-009	2.665449e-013	-6.665404e-019	-3.588834e-022
26	0.000000e+000	-1.629113e-008	-1.388388e-012	-1.440922e-016	2.053203e-020

i	E	F	G
1	-3.736212e-025	2.009467e-029	0.000000e+000
3	2.872877e-025	-1.766891e-029	0.000000e+000
6	2.402849e-028	-5.549594e-032	0.000000e+000
7	-1.486784e-026	5.643220e-031	0.000000e+000
9	-5.671144e-028	2.416267e-032	0.000000e+000
11	-1.486784e-026	5.643220e-031	0.000000e+000
12	2.402849e-028	-5.549594e-032	0.000000e+000
15	3.538947e-028	-2.714266e-032	0.000000e+000
22	2.100909e-027	-9.830355e-032	0.000000e+000
24	1.160342e-026	-2.641121e-031	0.000000e+000
26	-2.539599e-024	1.018509e-028	0.000000e+000

## HOE surfaces

i	C1	C2	C3	C4	C5
17	3.183763e-004	-4.046038e-010	-3.716434e-014	-1.759133e-020	-7.321876e-024
20	6.283687e-005	6.771151e-009	4.215758e-014	8.709241e-019	3.561099e-023

【0 0 6 7】

## 【発明の効果】

以上に説明したとおり、本発明によると、高開口数と広い露光領域を確保することができる投影光学系を達成することが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態における投影光学系を説明するための概略図。

【図 2】

本発明の実施の形態における投影光学系を説明するための概略図。

【図 3】

本発明の実施例 1 における投影光学系を説明するための概略図。

【図 4】

本発明の実施例 2 における投影光学系を説明するための概略図。

【図 5】

本発明の実施例 3 における投影光学系を説明するための概略図。

【図 6】

本発明の実施例 3 における投影光学系を説明するための概略図。

【図 7】

本発明の実施例 4 における投影光学系を説明するための概略図。

【図 8】

本発明の実施例 4 における投影光学系を説明するための概略図。

【図 9】

本発明の実施例 1 における投影光学系の収差図。

【図 1 0】

本発明の実施例 2 における投影光学系の収差図。

【図 1 1】

本発明の実施例 3 における投影光学系の収差図。

【図 1 2】

本発明の実施例 4 における投影光学系の収差図。

【図 1 3】

本発明の実施例 1 におけるレンズ構成の断面図。

【図 1 4】

本発明の実施例 2 におけるレンズ構成の断面図。

【図 1 5】

本発明の実施例 3 におけるレンズ構成の断面図。

【図 1 6】

本発明の実施例 4 におけるレンズ構成の断面図。

【符号の説明】

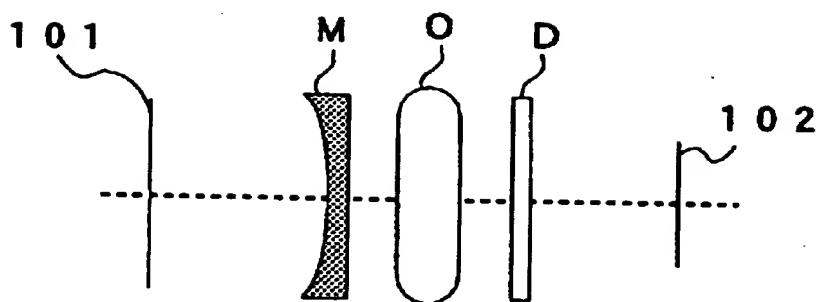
- G 1 : 第 1 結像光学系
- G 2 : 第 2 結像光学系
- L 1 : 屈折レンズ群
- L 2 : 2 枚のミラーを含む群
- F : フィールドレンズ群
- M 1 : 第 1 のミラー
- M 2 : 第 2 のミラー
- 1 0 1 : 第 1 の物体 (レチクル)
- 1 0 2 : 第 2 の物体 (ウエハ)
- 1 0 3 : 光軸
- 5 0 1 : 第 1 のミラー (凹面鏡)
- 5 0 2 : ミラー



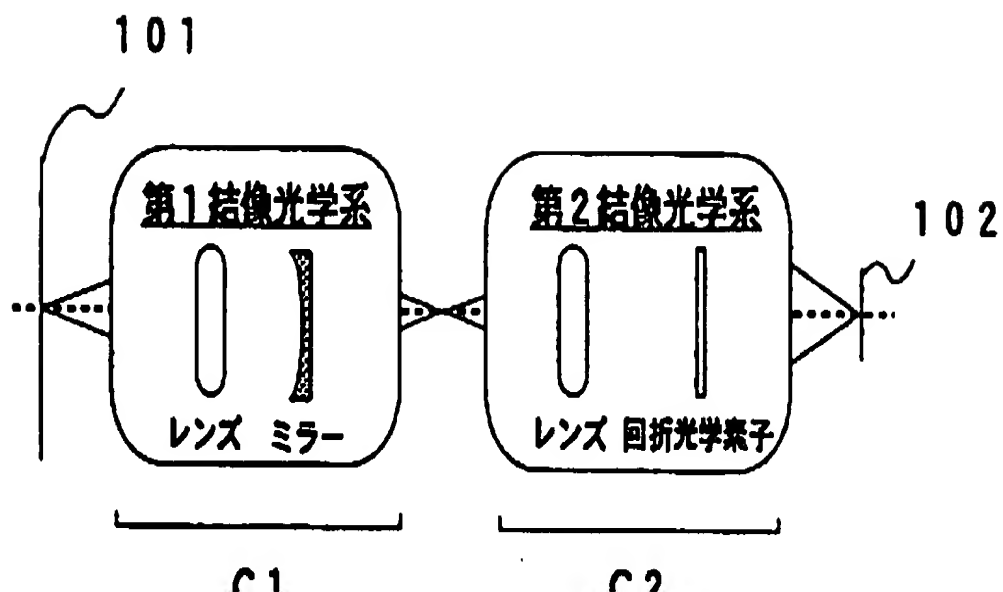
【書類名】

図面

【図 1】

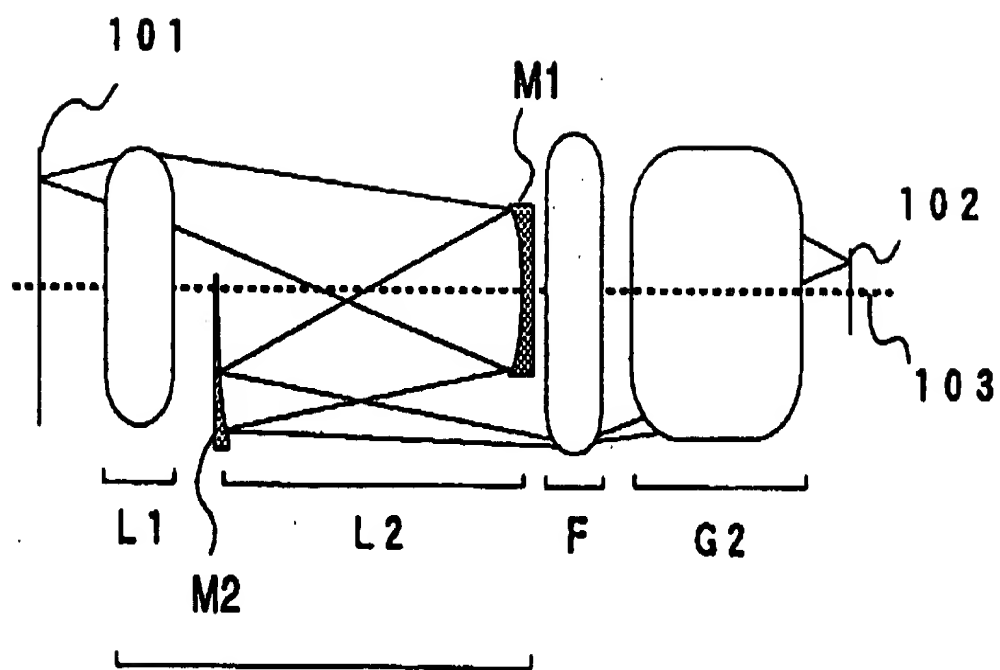


【図2】

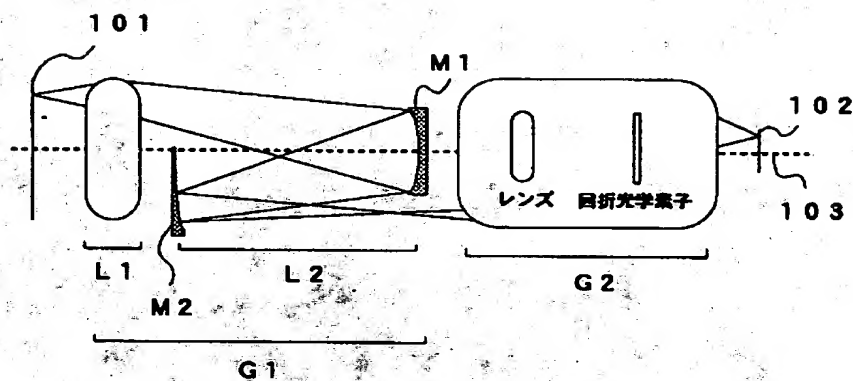


特2000-096934

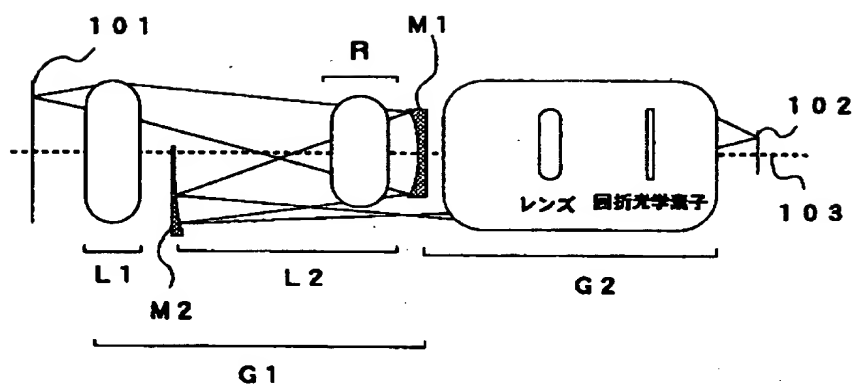
【図3】



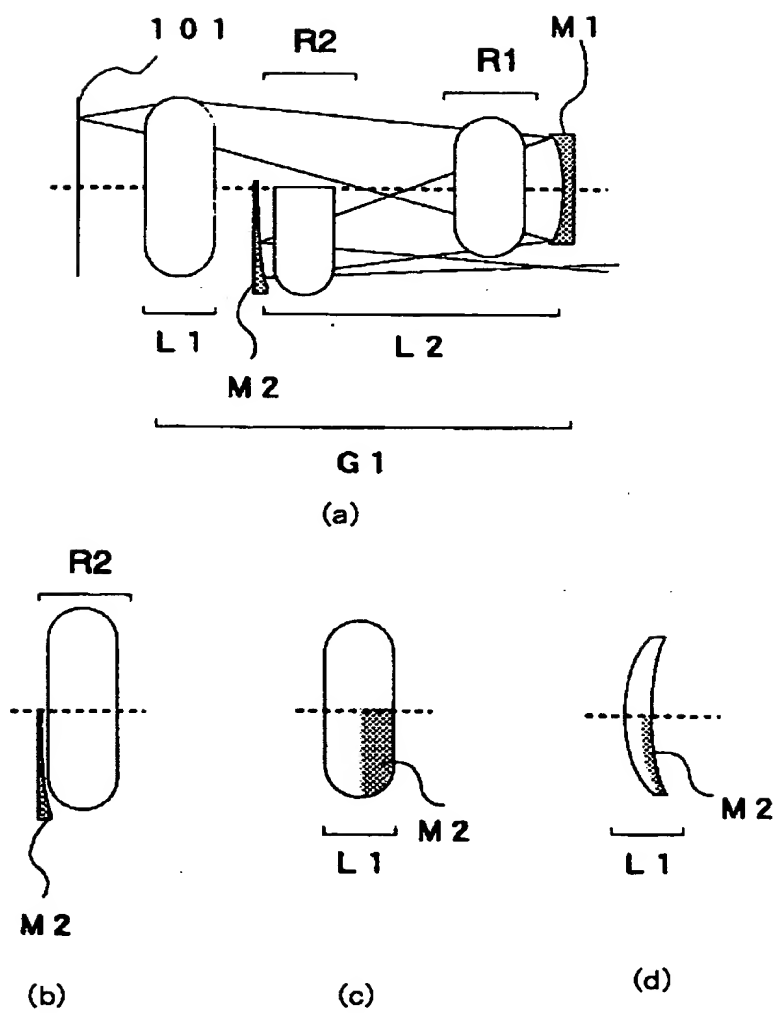
【図4】



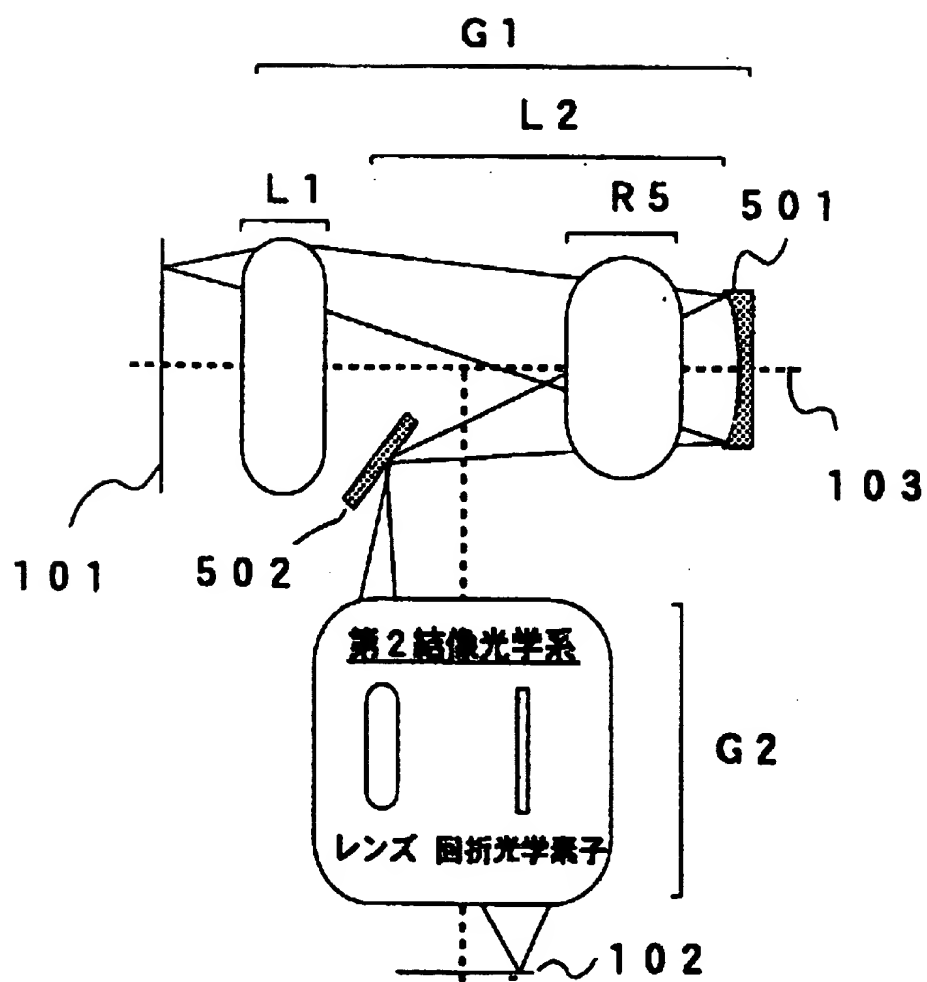
【図5】



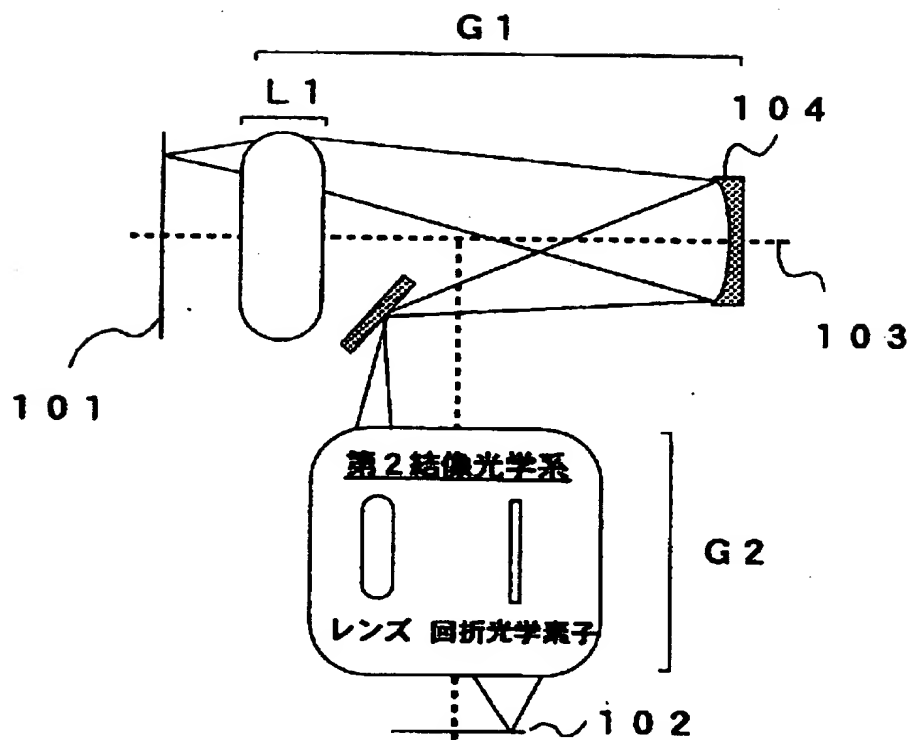
【図 6】



【図7】

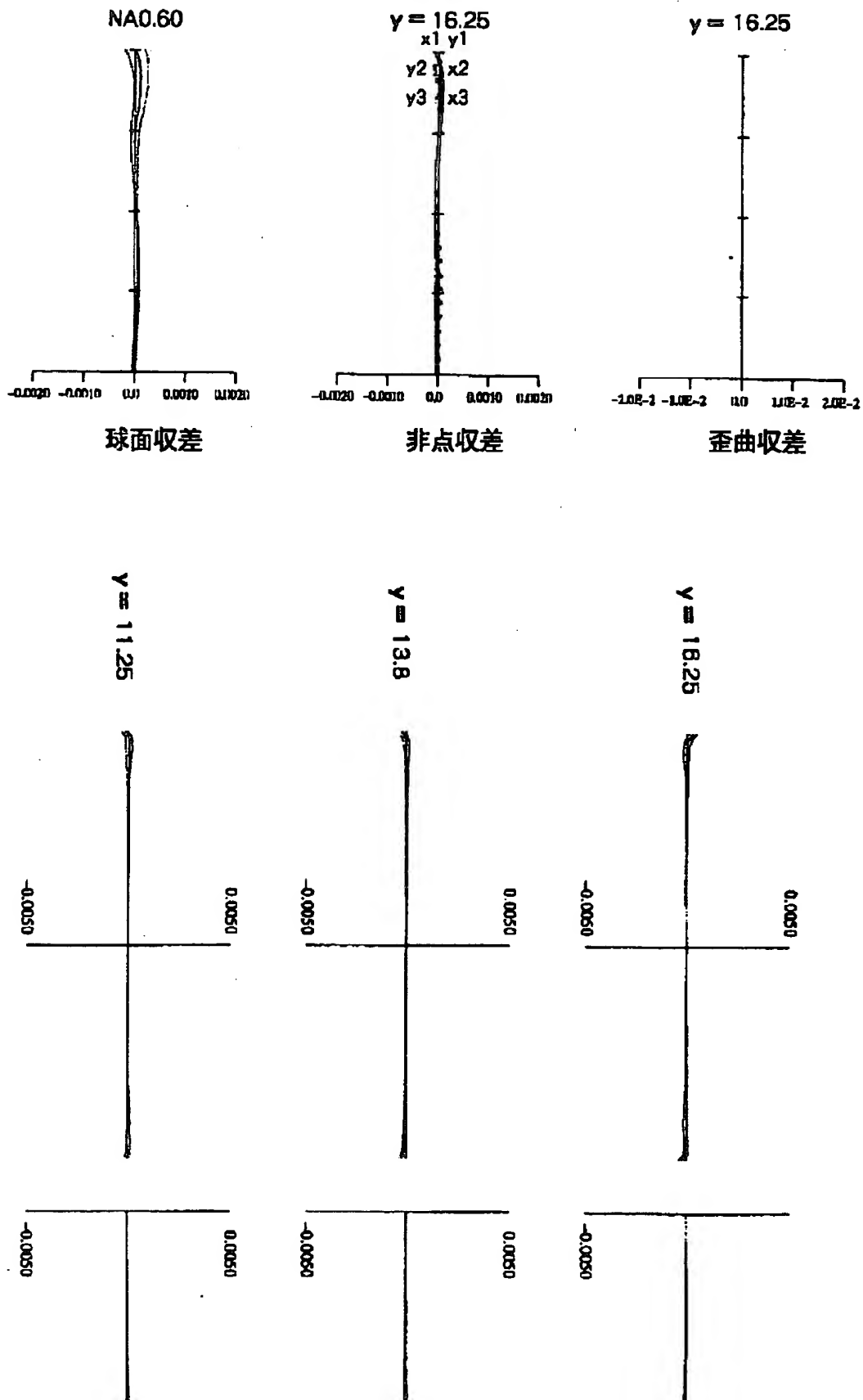


【図8】

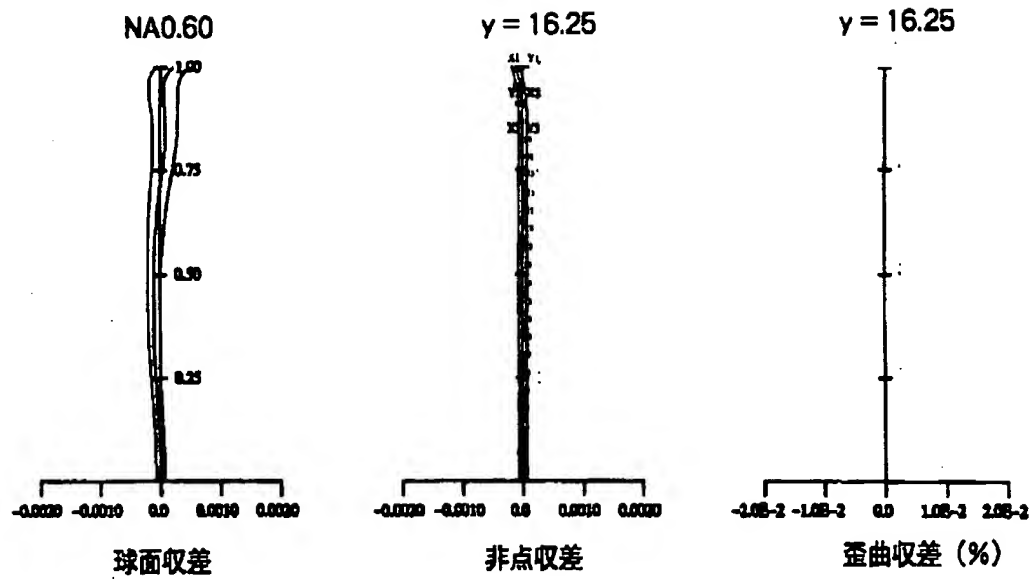




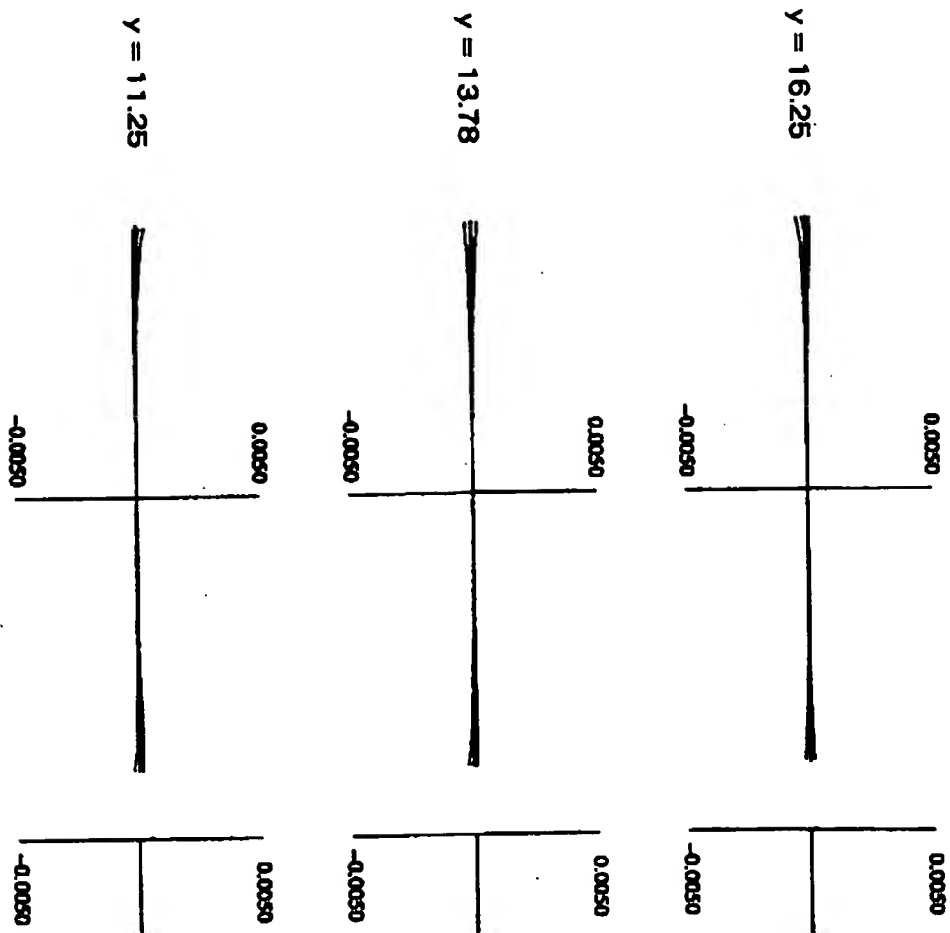
【图 9】



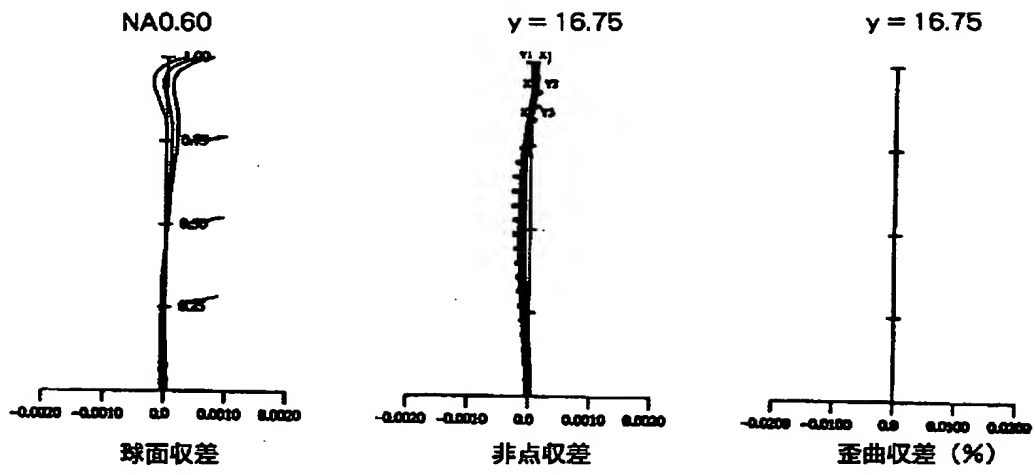
【图10】



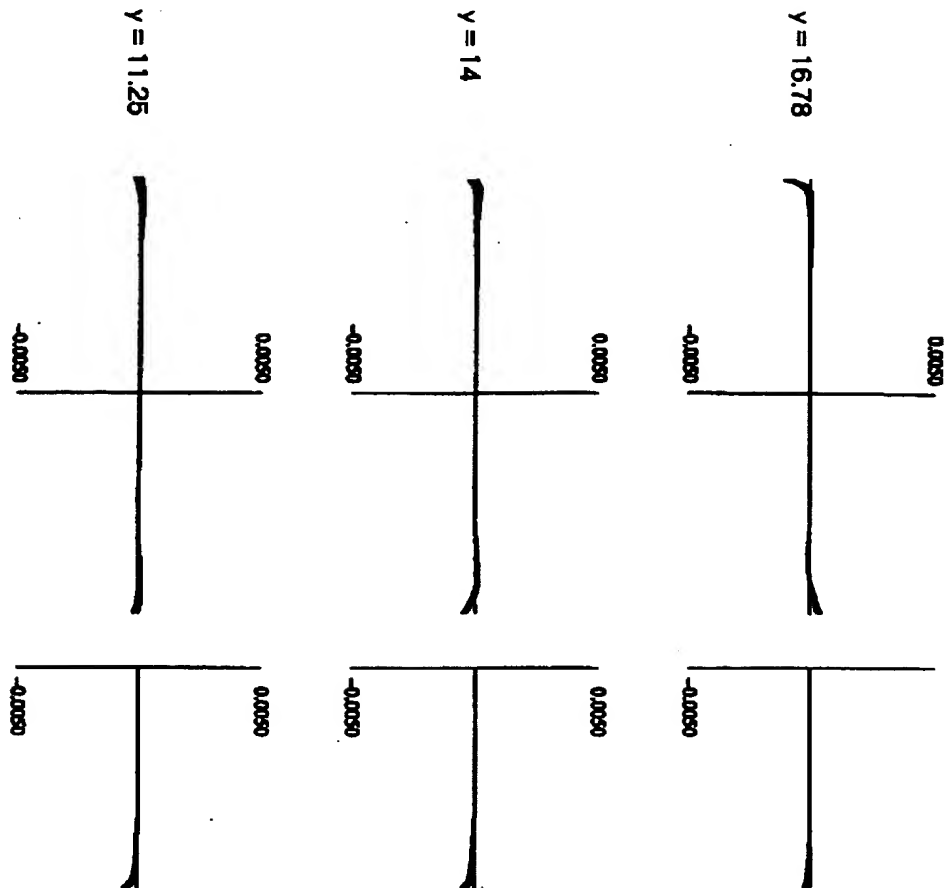
(a)



【図11】

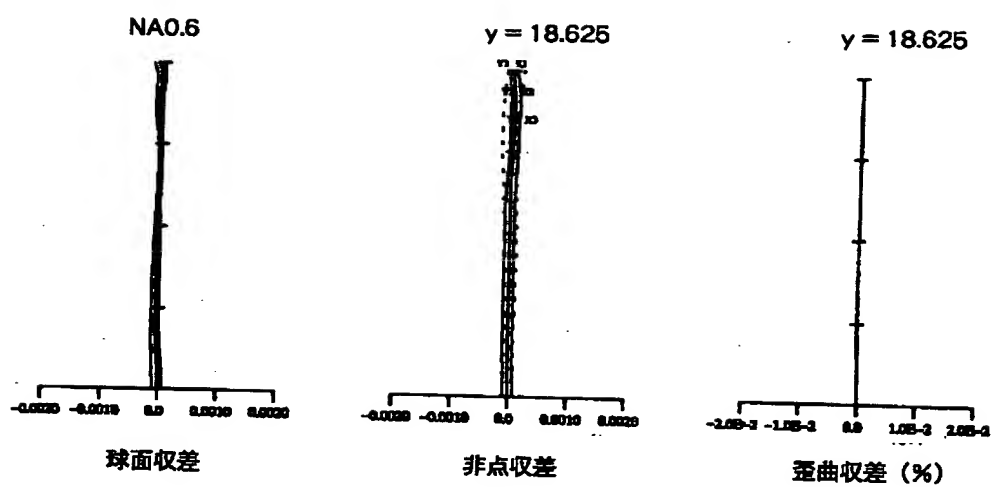


(a)

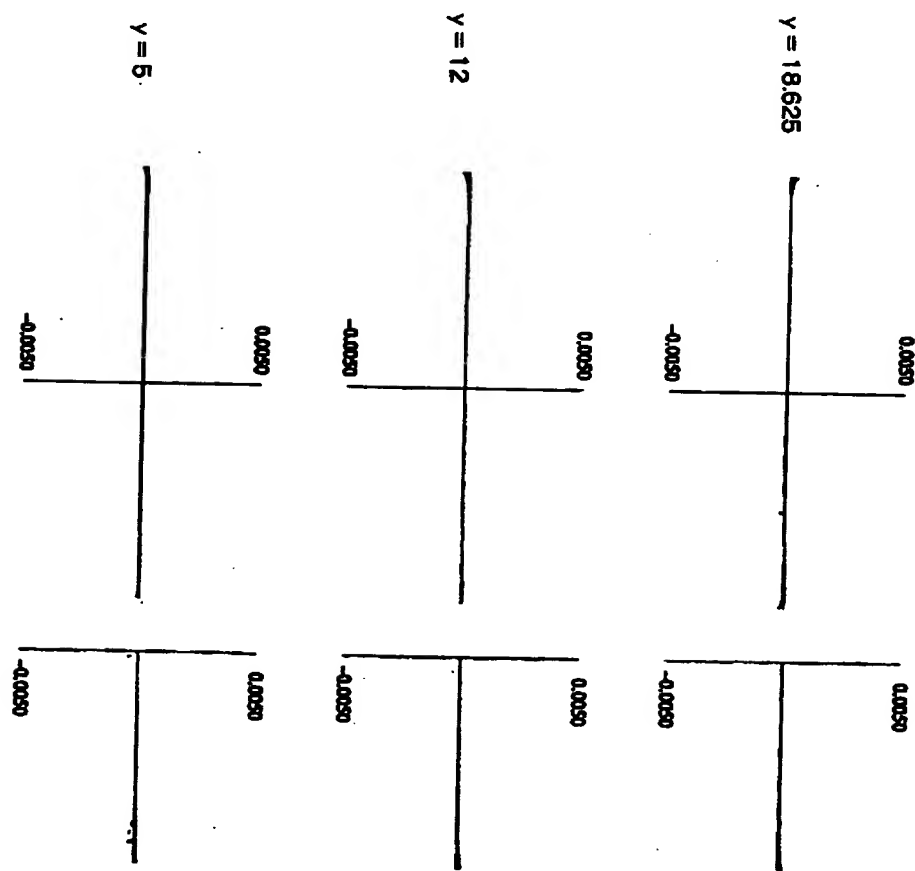


(b)

【図12】



(a)

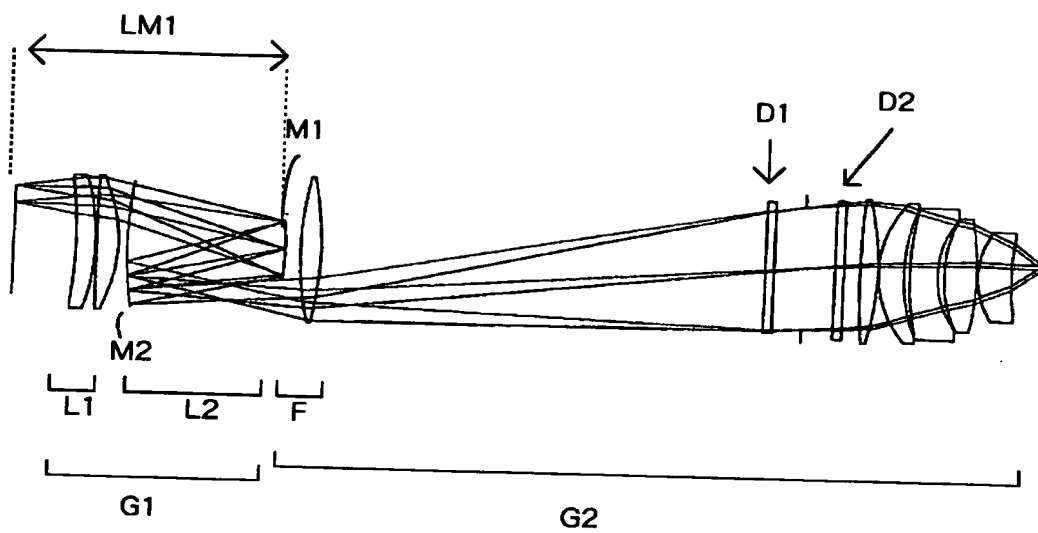


(b)

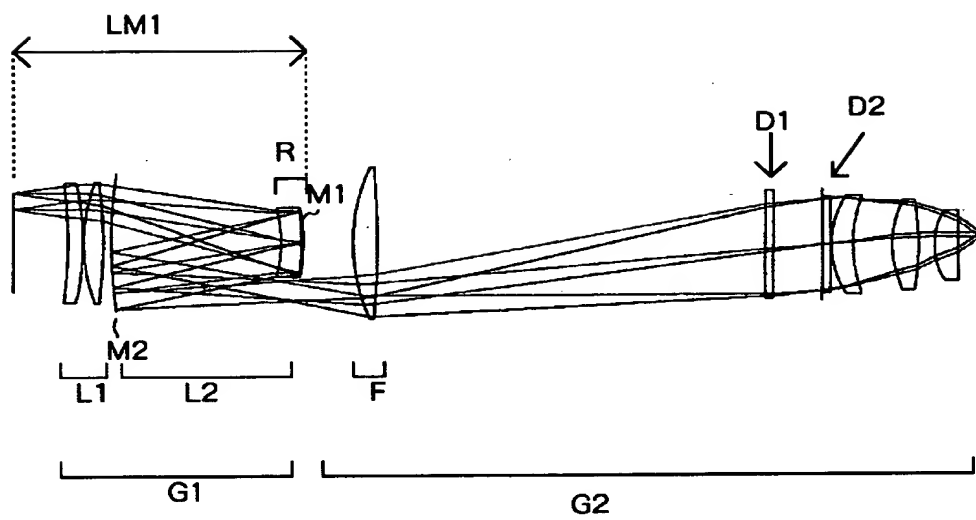
【図 13】



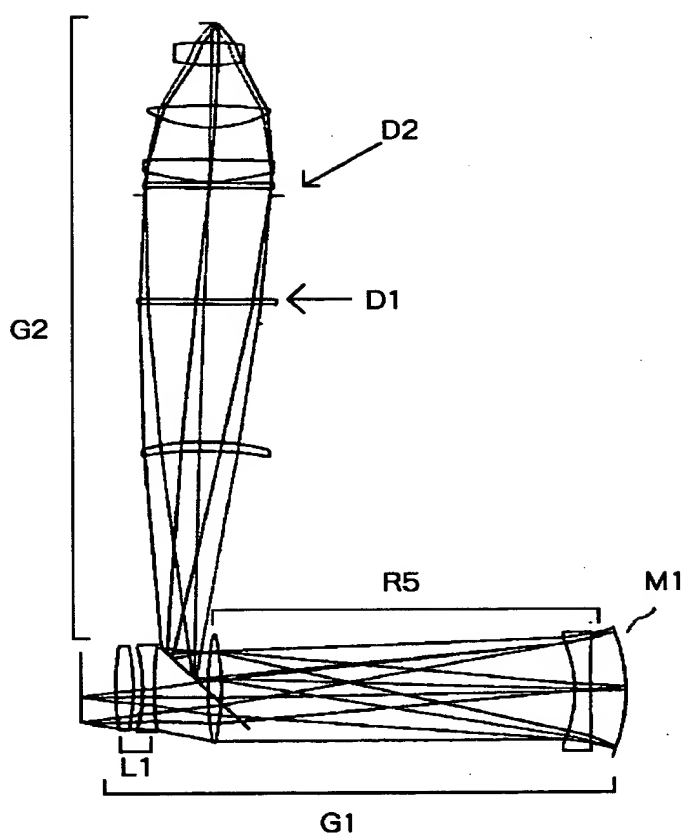
【図14】



【図 15】



【図 16】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 レンズの構成枚数が少なく、かつ高解像力と広い露光領域を確保することのできる投影光学系を提供する。

【解決手段】 物体の像を像面へ投影する投影光学系において、少なくとも一つのレンズと、少なくとも一つの凹面鏡と、少なくとも一つの回折光学素子とを有し、例えば、前記少なくとも一つのレンズと前記少なくとも一つの凹面鏡を備え、前記物体の中間像を結像するように構成した第 1 結像光学系と、前記少なくとも一つのレンズと少なくとも一つの回折光学素子を備え、前記中間像を像面へ投影する第 2 結像光学系とを有する構成とする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
氏 名 キヤノン株式会社